

# Wie Sprache im Gehirn entsteht

Friederici, Angela D.

Veröffentlicht in:  
Jahrbuch 2011 der Braunschweigischen  
Wissenschaftlichen Gesellschaft, S.183-200



J. Cramer Verlag, Braunschweig

## Wie Sprache im Gehirn entsteht\*

ANGELA D. FRIEDERICI

Max-Planck-Institut für Kognitions- u. Neurowissenschaften  
Stephanstraße 1, D-04103 Leipzig

Der Mensch unterscheidet sich von anderen Spezies vor allem durch seine Sprachfähigkeit. Zwar können andere Spezies auf mannigfaltige Weise miteinander kommunizieren, jedoch vermögen sie nicht, Sprache zu erwerben und zu verwenden.

Um diese Aussage zu belegen, muss zunächst definiert werden, was mit Sprache gemeint ist. Sprache ist ein komplexes System, das aus einer Reihe von verschiedenen Komponenten besteht, ohne deren Zusammenspiel die Produktion und das Verstehen von Sätzen und Nebensätzen nicht möglich sind. Zu diesen Komponenten gehören zum einen die Sprachlaute (Phonologie) und die Wörter (Lexikon) einer Sprache, zum anderen aber – als wichtigste Komponente einer Sprache – die Grammatik (Syntax). Alle Sprachen der Welt verfügen über diese Komponenten, auch wenn sie jeweils unterschiedlich realisiert sind. Vor allem variieren die Wörter von Sprache zu Sprache. Darüber hinaus unterscheiden sich die verschiedenen Sprachen der Welt auch bezüglich ihrer Grammatik, was uns das Lernen einer Fremdsprache im Erwachsenenalter oft schwer macht.

Es ist faszinierend zu sehen, dass jedes Kind, in welche Sprachumgebung auch immer geboren, in der Lage ist, diese Sprache mühelos zu erlernen. Darüber hinaus ist interessant zu sehen, dass die Entwicklungsverläufe des Spracherwerbs in allen Sprachen der Welt gleich ablaufen: von der Schreiphase über die Lallphase zur ersten Wortproduktion und von da aus über die Phase der Zwei-Wort-Sätze hin zu komplexeren Satzstrukturen und Nebensatzkonstruktionen. Dies gilt erstaunlicherweise auch für Kinder, die taub bzw. gehörlos geboren wurden, solange sie eine Gebärdensprache als „muttersprachlichen“ Input be-

---

\* [Originalveröffentlichung: Friederici, A.D. (2011). Den Bär schubst der Tiger – Wie Sprache im Gehirn entsteht. In T. Bonhoeffer, & P. Gruss (Hrg.), *Zukunft Gehirn* (pp. 106–120). Munich, Germany: C.H.Beck.]

Der Vortrag wurde gehalten am 13.05.2011 anlässlich der Verleihung der Gauß-Medaille durch die Braunschweigische Wissenschaftliche Gesellschaft.

kommen. Gehörlose Kinder durchlaufen die gleichen Entwicklungsphasen wie hörende Kinder und fangen bereits in der Lallphase an, ihre Hände als Ausdrucksmittel zu verwenden.

Diese Beobachtungen legen nahe, dass kindlicher Spracherwerb einem biologischen Programm folgt, welches, sofern das Kind Sprachinput bekommt, automatisch abläuft. Ist Sprachinput nicht gegeben, wie zum Beispiel bei dem berühmten Fall Kaspar Hauser, entwickelt sich die volle Sprachfähigkeit nicht.<sup>1</sup> Ähnlich wie bei der Entwicklung des visuellen Systems ist die Ausdifferenzierung des Sprachsystems auf Input angewiesen und richtet sich auf die jeweilige Sprache aus, die es als Input bekommt.

Sofern Sprache also einem biologisch vorgegebenen Programm folgt, liegt die Frage nach den biologischen Grundlagen nahe. In den vergangenen Jahren haben eine Reihe von Studien versucht, den genetischen Grundlagen der Sprache auf die Spur zu kommen. Diese Studien liefern erste Hinweise darauf, dass genetische Variationen deutliche Effekte auf die Gehirnentwicklung haben, insbesondere auch auf Hirnregionen, von denen wir wissen, dass sie für die Sprachverarbeitung relevant sind.<sup>2</sup>

### Neuronale Grundlagen der Sprache beim Erwachsenen

Dass die Sprachfähigkeit vom Intaktsein des Gehirns abhängt, wissen wir seit den ersten Berichten von Patienten mit Sprachstörungen, bei denen Hirnschädigungen durch Schlaganfall nachgewiesen wurden.<sup>3</sup> Seit gut zehn Jahren erlaubt uns die Technik der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), die Hirnaktivierung als Antwort auf einen bestimmten Input und den dadurch ausgelösten Verarbeitungsprozess zu messen. Auf diese Weise kann ermittelt werden, welche Hirnregionen für die Verarbeitung von phonetischer, semantisch-lexikalischer, syntaktischer und prosodischer Information zuständig sind und ob dies für alle Sprachen gleich ist.

Untersuchungen zur Sprachverarbeitung mithilfe der fMRT wurden für so unterschiedliche Sprachen wie das Englische, Japanische, Deutsche, Italienische, Hebräische, Niederländische, Französische und Thailändische durchgeführt.<sup>4</sup>

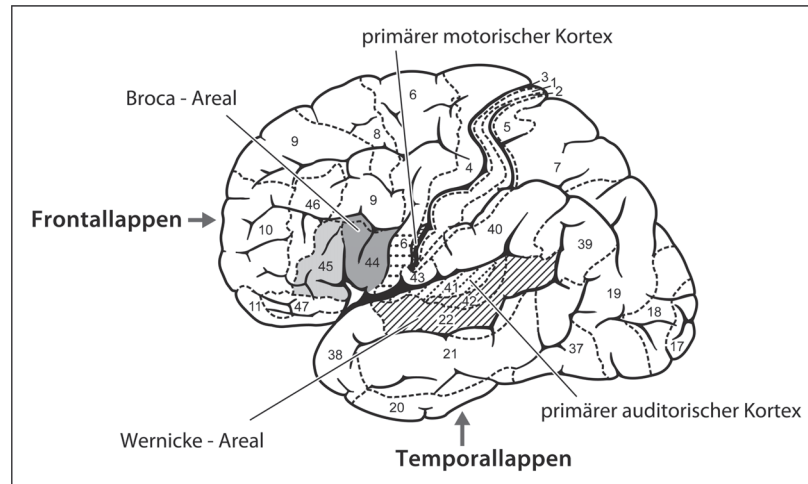
---

<sup>1</sup> Für einen jüngeren gut dokumentierten Fall dieser Art siehe auch Curtiss, S. (1977): *Genie: A psycholinguistic study of a modern day „wild child“*. New York: Academic Press.

<sup>2</sup> Für Reviews siehe Fisher & Marcus, 2006; Vargha-Khadem et al., 2005.

<sup>3</sup> Broca, 1865; Wernicke, 1874.

<sup>4</sup> Siehe Bookheimer, 2002; Vigneau et al., 2006.



Quelle: bearbeitet nach Brodmann, 1909

Abb. 1: Klassische Sprachzentren in der linken Hemisphäre. Nummern markieren zytoarchitektonisch unterschiedliche Areale nach Brodmann (1909). Brodmann-Areale (BA) 44 und 45 bilden das Broca-Areal, das im inferioren Teil des Frontallappens (im inferioren frontalen Gyrus, IFG) gelegen ist. BA 42 und 22 gelten als das Wernicke-Areal, das im oberen Anteil des Temporallappens (im superioren temporalen Gyrus, STG) gelegen ist.

Obwohl bei diesen Untersuchungen unterschiedliches Sprachmaterial zur Anwendung kam und verschiedene Aufgabenstellungen verwendet wurden, konnten für die einzelnen Sprachen jeweils gleichartige zerebrale Aktivierungsmuster beobachtet werden. Generell werden semantische und syntaktische Aspekte der Sprachverarbeitung von neuronalen Netzwerken verarbeitet, die jeweils links frontale und temporale Hirnregionen involvieren. Die Verarbeitung syntaktischer Information wird vom sogenannten Broca-Areal und dem anterioren sowie posterioren Anteil des superioren Gyrus temporalis (STG) unterstützt. Semantische Prozesse basieren auf einem Netzwerk, welches sowohl den mittleren und den superioren Temporallappen als auch den inferioren Frontalgyrus, speziell die Brodmann Areale (BA) 45 und 47, einbindet (siehe Abb. 1). Es konnte gezeigt werden, dass die BA 45 und 47 sowohl die Verarbeitung semantischer Relationen im Satz unterstützen als auch die Integration von Weltwissen vermitteln, welches im Langzeitgedächtnis repräsentiert ist.<sup>5</sup>

<sup>5</sup> Hagoort et al. 2004.

### Syntax im erwachsenen Gehirn

Das Broca-Areal, so wird angenommen, ist zuständig für Syntaxoperationen in allen natürlichen Sprachen<sup>6</sup> und ist entscheidend für die Verarbeitung von Syntaxoperationen, die erforderlich sind, um syntaktisch komplexe Sätze zu verstehen.<sup>7</sup>

Was heißt nun „komplex“, und wie kann man überprüfen, ob das Broca-Areal zuständig ist für die Verarbeitung von syntaktisch komplexen Sätzen? Das Deutsche erlaubt es mit seinen syntaktischen Möglichkeiten recht gut, diesen Punkt zu überprüfen, indem man die syntaktische Komplexität der Sätze systematisch erhöht. Man kann den Versuchspersonen kanonische Sätze präsentieren, also Sätze mit einer einfachen Ordnung der Nominalphrasen: Subjekt – indirektes Objekt – direktes Objekt (niedrige Komplexität, siehe Satz (1)). Man kann die Konstruktion aber etwas schwieriger gestalten, indem man das indirekte Objekt in die erste Position des Satzes bringt: indirektes Objekt – Subjekt – direktes Objekt (mittlere Komplexität, siehe Satz (2)) und noch schwieriger dadurch, dass man nicht nur das indirekte, sondern auch das direkte Objekt vor das Subjekt setzt: indirektes Objekt – direktes Objekt – Subjekt (hohe Komplexität, siehe Satz (3)):

- (1) *Heute hat der Vater dem Jungen den Lutscher geschenkt.*
- (2) *Heute hat dem Jungen der Vater den Lutscher geschenkt.*
- (3) *Heute hat dem Jungen den Lutscher der Vater geschenkt.*

In einer Beurteilungsaufgabe wird zwar der Satz (1) als „besser“ gewertet als die anderen Optionen, aber alle drei Varianten werden vom deutschen Muttersprachler als grammatisch korrekt beurteilt. Während des Sprachverstehensprozesses erzeugen die verschiedenen Sätze im Broca-Areal unterschiedlich starke Aktivierungen (siehe Abb. 2).

Die Aktivierung ist für den Satz (1) am geringsten und für den Satz (3), in dem Objekte nach vorne gebracht wurden, am höchsten. Die Ergebnisse dieses Experiments zeigen, dass das Broca-Areal systematisch als Funktion von syntaktischer Komplexität variiert und belegen mithin seine Bedeutung für die Verarbeitung syntaktischer Information.<sup>8</sup>

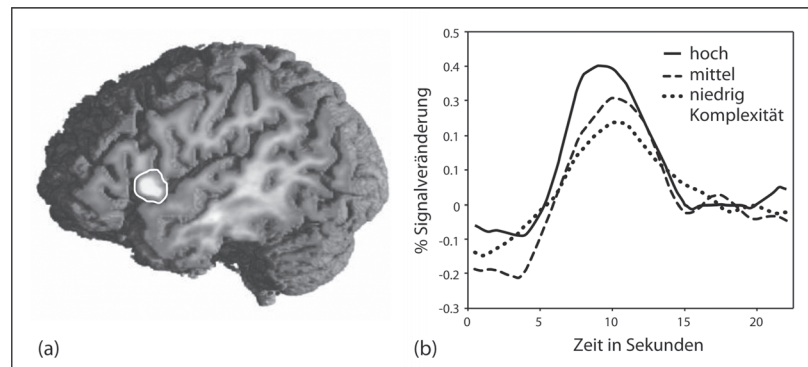
Die Verarbeitung syntaktisch komplexer Sätze aktiviert zusätzlich immer auch den posterioren Anteil des STG/STS<sup>9</sup>, nicht aber, wenn die Sätze keine seman-

<sup>6</sup> Im Gegensatz zu unnatürlichen Strukturen; Musso et al., 2003.

<sup>7</sup> Grodzinsky, 2000; Friederici et al., 2006b.

<sup>8</sup> Friederici et al., 2006b.

<sup>9</sup> Roeder et al., 2002; Bornkessel et al., 2005; Caplan et al., 2008; Friederici et al., 2009; Snijders et al., 2009.



Quelle: Friederici et al., Cerebral Cortex, 2006

Abb. 2: Broca-Areal und syntaktische Komplexität. Aktivierung im Broca-Areal für niedrig-, mittel- und hochkomplexe Sätze. (a) Aktivierungsort: Broca-Areal; (b) Aktivierungsstärke über die Zeit als Funktion der syntaktischen Komplexität der Sätze. Vergleiche Sätze (1) bis (3) im Text.

tische Information tragen oder Sequenzen nur nach syntaktischen Hierarchieregeln gebildet sind. Dies legt die Vermutung nahe, dass der posteriore Anteil des STG/STS bei der Integration von semantischer und syntaktischer Integration eine Rolle spielt bzw. ins Spiel kommt, wenn die Festlegung der semantischen und thematischen Relationen im Satz (wer tut wem was) schwierig und semantische Kombinatorik notwendig ist.<sup>10</sup>

### Satzmelodie und Syntax

Bei der Verarbeitung von gesprochenen Sätzen ist darüber hinaus die Satzmelodie, die sogenannte suprasegmentale prosodische Information, relevant, denn sie spiegelt zum Teil die zugrunde liegende syntaktische Struktur wider.

In den folgenden Beispielen ist die Prosodie des Satzes durch das Komma angegeben:

(4) „Der Mann sagt, die Frau kann nicht Auto fahren.“

(5) „Der Mann, sagt die Frau, kann nicht Auto fahren.“

Satz (4) und Satz (5) bedeuten etwas Unterschiedliches. In Satz (4) kann die Frau nicht Auto fahren, in Satz (5) ist es der Mann, der nicht Auto fahren kann.

<sup>10</sup> Snijders et al., 2009; Grewe et al., 2005; Rogalsky & Hickok, 2009.

Die Prosodie gibt in den beiden Sätzen jeweils an, wer etwas sagt und ist somit für das Verstehen des Satzes ausschlaggebend.

Das Gehirn reagiert auf die prosodische Veränderung an der Phrasengrenze (im Schriftsprachlichen markiert durch das Komma) mit einer spezifischen Hirnreaktion im ereigniskorrelierten Hirnpotential, das mittels der Elektroenzephalographie (EEG) erstmals gemessen werden konnte.<sup>11</sup> Für den normal gesprochenen Satz, der neben der Satzmelodie auch syntaktische und semantische Information enthält, sind beim Verstehen die linke und die rechte Hemisphäre involviert.<sup>12</sup> Die Verarbeitung der Satzmelodie alleine wird vornehmlich von der rechten Hemisphäre geleistet.<sup>13</sup>

Es konnte gezeigt werden, dass während des normalen Sprachverstehens linke Hemisphäre und rechte Hemisphäre bei der Verarbeitung von syntaktischer und prosodischer Information zeitnah miteinander interagieren. Diese Interaktion wird durch eine Hirnstruktur sichergestellt, die die beiden Hemisphären miteinander verbindet, den sogenannten Balken (Corpus Callosum). Es ist der hintere Anteil des Balkens, der die Temporallappen der linken und rechten Hemisphäre miteinander verbindet und das Zusammenspiel von Syntax und Prosodie während der akustischen Sprachverarbeitung sicherstellt.<sup>14</sup>

Normales Sprachverstehen setzt eine zeitliche Feinabstimmung der Hirnaktivitäten in verschiedenen Arealen der linken und rechten Hemisphäre voraus. Ist eine der Hirnregionen durch eine Erkrankung geschädigt oder führt eine Hirnerkrankung zu einer zeitlichen Verzögerung einzelner Prozesse, so kann normales Sprachverstehen oder auch das Produzieren kohärenter Äußerungen nicht mehr stattfinden. Häufig wird uns das Wunder der menschlichen Sprachfähigkeit erst bewusst, wenn Sprache nach Schlaganfall oder anderen Erkrankungen nicht mehr normal funktionieren.

### **Form oder Funktion: Was bestimmt die Hirnaktivierung?**

Wenn wir nach den biologischen Grundlagen der menschlichen Sprachfähigkeit fragen, steht eine Frage häufig im Vordergrund. Gilt die funktionelle Bestimmung von bestimmten Hirnarealen im Sprachverarbeitungsprozess eigentlich über die verschiedenen Sprachen hinweg? Ist ein bestimmtes Hirnareal immer

---

<sup>11</sup> Steinhauer et al., 1999.

<sup>12</sup> Pannekamp et al., 2005.

<sup>13</sup> Meyer et al., 2004; 2006.

<sup>14</sup> Eckstein & Friederici, 2006; Friederici et al., 2007.

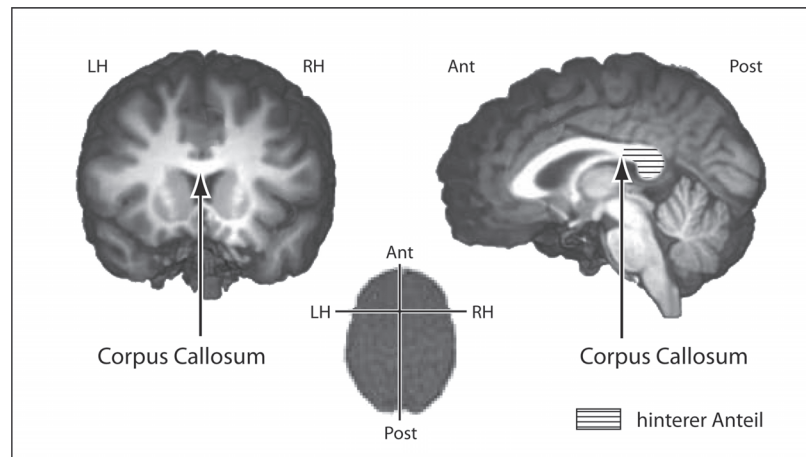


Abb. 3: Das Corpus Callosum. Links: Coronaler Schnitt zeigt die Verbindung zwischen linker Hemisphäre (LH) und rechter Hemisphäre (RH). Rechts: Sagittaler Schnitt zeigt die Lage des Corpus Callosum von anterior (Ant) nach posterior (Post). Unten Mitte: Angabe der Schnittführung; coronaler Schnitt quer von LH nach RH, sagittaler Schnitt längs von vorne (anterior) nach hinten (posterior).

für die gleiche Funktion zuständig, auch wenn diese in unterschiedlichen Sprachen unterschiedlich markiert ist? Das Englische markiert die grammatikalische Funktion (Subjekt, Objekt), zum Beispiel, durch die Wortfolge, wohingegen das Deutsche sie durch den Kasus (Nominativ, Akkusativ) markieren kann (siehe Sätze (1) bis (3)). Daten belegen, dass die Sprecher beider Sprachen zur Analyse dieser syntaktischen Funktion das gleiche grundlegende neuronale Netzwerk in der linken Hemisphäre benutzen. Ein extremeres Beispiel betrifft das Thai, das lexikalisch-semantische Unterschiede durch die Tonhöhe (hoch-niedrig im Gegensatz zu niedrig-hoch) markiert. Dieser Fall ist insofern von besonderer Bedeutung, als prosodische Information auf der Satzebene (Tonhöhenverlauf) vorwiegend in der rechten Hemisphäre aktiviert, wohingegen lexikalische-semantische Information in der linken Hemisphäre verarbeitet wird.<sup>15</sup> Falls die Kodierung der Information (Tonhöhe) über die Aktivierung bestimmter Gehirnbereiche entscheidet, liegt es nahe, deutliche Unterschiede zwischen Thai und anderen Sprachen zu erwarten. Werden die zerebralen Aktivierungsmuster hingegen durch die linguistische Funktion (in diesem Fall lexikalisch-semantische Funktion) bestimmt, würde man erwarten, dass diesbezüglich kei-

<sup>15</sup> Über entsprechende Studien informiert Friederici & Alter, 2004.



ne Unterschiede zwischen den Sprachen bestehen, unabhängig davon, in welcher Form sie kodiert wird. Brain-Imaging-Studien, die mit Thai-Muttersprachlern durchgeführt wurden,<sup>16</sup> zeigen, dass Tonhöhenunterschiede dann in der linken Hemisphäre verarbeitet werden, wenn sie lexikalisch-semantische Information enkodieren. Demnach ist offenbar nicht die Form der Information (Tonhöhe) ausschlaggebend dafür, in welcher Hemisphäre Areale aktiviert werden, sondern darüber entscheidet die linguistische Funktion (hier semantisch-lexikalisch).

Weitere Belege für die biologisch bedingte, funktionelle Vorbestimmtheit neuronaler Strukturen für die Sprachverarbeitung liefern Studien, die sich mit Gebärdensprachen beschäftigen. Sie liefern insofern wertvolle Erkenntnisse bezüglich der menschlichen Sprache, als es sich bei der Gebärdensprache um eine natürliche Sprache handelt, die über eine Phonologie, ein Lexikon und eine Syntax verfügt, aber von auditorischer Information völlig unabhängig ist. Trotz der eindeutig unterschiedlichen Input-Modalitäten, die zur Enkodierung von gesprochenen Sprachen und Gebärdensprachen benutzt werden, erfolgt die Verarbeitung der zentralen sprachlichen Funktionen in beiden Fällen in den gleichen Gehirnarealen.<sup>17</sup> Sprachliche Funktionen sind also generell in bestimmten Gehirnarealen verankert.

### **Sprache und Gehirn in der Entwicklung**

Das Wunder der menschlichen Sprachfähigkeit wird vor allem deutlich, wenn wir uns vor Augen führen, dass Kinder jede Sprache der Welt ohne ein spezielles Lehrprogramm lernen. Sie lernen Sprache, indem sie phonologische Regelmäßigkeiten und positionale Regelmäßigkeiten (wo steht was) im Sprachinput erfassen. Kleinkinder sind im ersten halben Lebensjahr darauf aus, in dem Gehörten Regeln zu erkennen. Sie zeigen bereits die Fähigkeit, über die bloße Auftretenswahrscheinlichkeit einzelner Elemente (Wörter und Flexionsendungen) in einer Sprachfolge Regeln zu abstrahieren.<sup>18</sup> Mit dieser Fähigkeit ist die Grundlage für den Erwerb syntaktischer Regeln in der Muttersprache schon teilweise gelegt. Parallel zum Herausfiltern syntaktischer Regeln müssen Kinder lernen, dass gewisse Elemente im Sprachfluss Bedeutungen tragen, die sich auf Objekte und Handlungen in der sie umgebenden Welt beziehen. Da die Beziehungen zwischen Wörtern und Objekten sowie zwischen Wörtern und Handlungen willkürlich sind – wie die verschiedenen Sprachen beweisen –, ist

---

<sup>16</sup> Gandour et al., 2000.

<sup>17</sup> Corina & McBurney, 2001; Hickok, Kirk & Bellugi, 1998.

<sup>18</sup> Siehe den Übersichtartikel von Gomez & Gerken, 2000.

das keine leichte Aufgabe. Man stelle sich folgende Szene vor: Die Mutter geht mit dem Kind auf dem Arm durch den Garten und sieht auf dem Rasen einen Hasen sitzen. Sie sagt: „Schau mal, ein Hase.“ Das Kind aber sieht den Rasen, die Blumen, die Sträucher, woher soll es wissen, welches Ding die Mutter gerade benannt hat? Nun, den Kindern helfen hier eine Reihe von Hinweisen: sowohl außersprachliche wie Deuten und Blicken in Richtung des benannten Objektes oder der Handlung als auch innersprachliche Hinweise, mit anderen Worten funktionale syntaktische Kategorien wie Funktionswörter und Morphologie. So haben Studien gezeigt, dass soziale Hinweise wie Zeigen oder Blickrichtung das Lernen von Objektnamen erleichtern.<sup>19</sup> Funktionale Kategorien können dabei helfen herauszufinden, ob ein bestimmtes Wort zu einem Objekt oder zu einer Handlung gehört. Geht beispielsweise einem Wort ein Artikel voraus, dann bezieht es sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf ein Objekt und ist ein Nomen: *ein Ball*; *ein Hase*. Geht einem Wort dagegen ein Hilfszeitwort voraus, wie in dem Satz „*Schau mal, der Hase kann springen*“, dann bezieht es sich mit großer Wahrscheinlichkeit auf eine Handlung und ist ein Verb: *kann springen*. So wurde gezeigt, dass Kinder bereits ab einem Alter von sechs Monaten verschiedene funktionale Kategorien dieser Art erkennen können.<sup>20</sup>

Im Alter von etwa zwölf bis vierzehn Monaten erkennen Kinder die ersten Wörter und ihre Bedeutungen. Im Alter von zweieinhalb Jahren verfügen sie über kritische syntaktische Parameter ihrer Muttersprache, etwa dass im Deutschen das Verb im Nebensatz am Ende steht.<sup>21</sup> Allerdings dauert es noch ein paar Jahre, bevor das Kind Sätze, in denen das Objekt und nicht das Subjekt am Satzanfang steht (z.B. *Den Bär schubst der Tiger*) richtig interpretieren kann. Noch im Alter von fünf Jahren liegt die Interpretation des Akteurs der Handlung in solchen Sätzen im Zufallsbereich.<sup>22</sup>

Wie sind diese Entwicklungsverläufe zu erklären und welche Rolle spielt die Hirnreifung dabei?

### Hirnaktivitätsmessung bei Kleinkindern und Kindern

Um diese Frage zu klären, wurden in den vergangenen Jahren in den Untersuchungen verstärkt bildgebende Verfahren eingesetzt. Die am häufigsten verwendete Messgröße bei Kleinkindern und jungen Kindern ist das ereignis-

<sup>19</sup> Z.B. Baldwin und Moses, 2001; Tomasello, 2003.

<sup>20</sup> Z.B. Höhle und Weissenborn, 2003; Höhle et al., 2004.

<sup>21</sup> Höhle et al., 2001.

<sup>22</sup> Dittmar et al., 2008.

korrelierte Hirnpotential (EKP), wie es bei der Elektroenzephalographie (EEG) erfasst wird. Das EKP spiegelt die Gehirnaktivität als Antwort auf ein bestimmtes Stimulusereignis mit hoher zeitlicher Auflösung wider und kann so Auskunft über den zeitlichen Verlauf sprachlicher Verarbeitungsprozesse geben. Als zweite Methode kam die Nah-Infrarot-Spektroskopie (NIRS), auch als Optical Imaging bezeichnet, zur Anwendung. Sie erlaubt es, die kortikale hämodynamische Antwort bei Kleinkindern zu untersuchen, indem sie mittels der Spektroskopie die Veränderungen der Hämoglobinkonzentration in der Großhirnrinde misst. Mit dieser Methode können relativ gut Aussagen über das Wo der Aktivität gemacht werden. Als dritte Methode wird seit kurzem auch die fMRT eingesetzt, bei der die räumliche Auflösung sehr viel besser ist. Bisher wurde diese Art der Messung jedoch bei Kleinkindern nur selten angewendet, da sie besonders anfällig für Bewegungsartefakte ist. Zurzeit steht mithin eigentlich keine Messmethode zur Untersuchung von Kleinkindern zur Verfügung, die eine optimale Zeit- und Ortsauflösung mit einer leichten Handhabung verbindet. Allerdings ergänzen sich die Ergebnisse der jeweiligen Messmethoden und geben so Einblick in die Gehirngrundlagen der Sprachentwicklung in den Frühstadien.

### Von der Akustik zur Sprache

Der erste Einstieg von Kleinkindern in die Sprache beruht auf der Verarbeitung phonologischer Information. Eine ausschlaggebende Fähigkeit bei diesem ersten Schritt des Spracherwerbs besteht darin, dass der Säugling zwischen Sprache und nichtsprachlichem auditorischem Input unterscheiden lernt, um sprachliche Informationen gezielt wahrnehmen zu können. In einem fMRI-Experiment<sup>23</sup> wurde die Gehirnaktivität gemessen, die von normaler („Vorwärts-“) und umgekehrter („Rückwärts-“) Sprache bei drei Monate alten Kleinkindern hervorgerufen wird, welche Französisch lernen. Vorwärtssprache löste eine stärkere Aktivierung im linken Temporallappen aus als Rückwärtssprache. Diese Daten lassen vermuten, dass schon im Alter von drei Monaten, ähnlich wie bei Erwachsenen, eine linkshemisphärische Dominanz für Sprache vorliegt. Darüber hinaus konnte gezeigt werden,<sup>24</sup> dass die Dominanz der rechten Gehirnhälfte, die man bei der Verarbeitung der Satzprosodie bei Erwachsenen findet, auch schon im Alter von drei Monaten angelegt ist.

Ein ganz entscheidender Gesichtspunkt bei der Satzprosodie ist, dass sie die Phrasengrenzen anzeigt (wie in den Sätzen (4) und (5) durch Komma ange-

---

<sup>23</sup> Dehaene-Lambertz, Dehaene & Hertz-Pannier, 2002.

<sup>24</sup> Homae et al., 2006

zeigt): Jede prosodische Phrasengrenze ist also eine syntaktische Phrasengrenze. Das bedeutet, dass Kleinkinder, sobald sie die für die Einteilung gehörter Sprache in einzelne Phrasen erforderliche prosodische Information erkannt haben, syntaktische Phrasengrenzen identifizieren können. Die prosodische Phrasengrenze ist normalerweise durch drei Parameter markiert: Änderung des Tonhöhenverlaufs, Längung der letzten Silbe vor der Pause und die Pause selbst. Bei Erwachsenen fand man eine bestimmte EKP-Komponente, die mit der Verarbeitung von prosodischen Phrasengrenzen bei gesprochener Sprache korreliert.<sup>25</sup> Für Kinder konnte eine solche EKP-Komponente bereits im Alter von fünf Monaten gezeigt werden, aber nur dann, wenn die prosodische Phrasengrenze durch eine deutliche Pause markiert war.<sup>26</sup> Bei Erwachsenen reicht die an der prosodischen Phrasengrenze vorhandene Änderung des Tonhöhenverlaufs und der Längung der präfinalen Silbe als Hinweisreiz zum Erkennen der Grenze aus; bei fünf Monate alten Kindern ist dagegen die zusätzliche Markierung durch die Pause für ein Erkennen der Grenze notwendig. Dies belegt in exemplarischer Weise, wie Kleinkinder den Einstieg in die Sprache primär über markante akustische Signale bekommen. Später erst, wenn den akustischen Signalen eine funktionelle Bedeutung zugeschrieben wird, reichen weniger markante Signale aus.

Noch bevor Kleinkinder anfangen, vor sich hin zu lallen und zu plappern, erweisen sie sich als höchst sensibel für prominente, häufig auftretende Betonungsmuster ihrer Muttersprache. Die Betonung zweisilbiger Wörter liegt im Deutschen auf der ersten Silbe (*Máma, Pápa*), während sie im Französischen auf der zweiten Silbe liegt (*mamá, papá*). Daten einer kürzlich durchgeführten EKP-Studie, in der vier bis fünf Monate alte deutsche und französische Kinder untersucht wurden, zeigen: Deutsch lernende Kinder reagieren stärker auf das sprachuntypische Betonungsmuster des Deutschen (Betonung auf der zweiten Silbe), wohingegen Französisch lernende Kinder stärker auf das sprachuntypische Betonungsmuster des Französischen (Betonung auf der ersten Silbe) reagieren.<sup>27</sup> Dieser Befund belegt, dass Kinder schon im Alter von vier bis fünf Monaten Wissen über die vorherrschenden Betonungsmuster ihrer Muttersprache aufgebaut haben.

In diesem Alter sind Kleinkinder ebenfalls bereits hoch sensibel für syntaktische Regularitäten im Sprachinput. Mittels EKP-Messungen konnte kürzlich gezeigt werden, dass Kleinkinder im Alter von vier Monaten in der Lage sind, syntaktische Relationen zwischen zwei Elementen im Satz zu erkennen, und

---

<sup>25</sup> Steinhauer et al., 1999

<sup>26</sup> Männel & Friederici, 2009.

<sup>27</sup> Friederici, Friedrich & Christophe, 2007.

zwar in einer Sprache, die sie nie zuvor gehört hatten. Deutsche Kleinkinder hörten eine Reihe von italienischen Sätzen, in denen ein bestimmtes Auxiliar (Hilfsverb) die jeweilige Endung des Verbs bestimmt (wie in den Sätzen (6) und (7)).

(6) *La sorella sta cantando. / Die Schwester ist (am) singen.*

(7) *La sorella puo cantare. / Die Schwester kann singen.*

Deutsche Kleinkinder im Alter von vier Monaten lernen diese syntaktische Abhängigkeit des Italienischen nach weniger als einer halben Stunde passiven Hörens italienischer Sätze.<sup>28</sup> Konfrontiert mit korrekten Sätzen (z.B. (6) und (7)) und inkorrekten Sätzen (z.B. \**La sorella puo cantando*, \**La sorella sta cantare*), zeigten sie einen deutlichen Unterschied in der Gehirnreaktion auf korrekte und inkorrekte Sätze. Diese frühen Fähigkeiten des Erkennens von Regularitäten im Input sind die Grundvoraussetzungen für den menschlichen Spracherwerb, für den späteren Erwerb von Syntax.

### Von Wörtern zu komplexen Sätzen

Der Erwerb von Wortwissen, von Wörtern und ihren Bedeutungen, zieht sich über Jahre hin. Zunächst erwerben Kleinkinder Wissen über die mögliche Lautform von Wörtern in ihrer Sprache, und später erst erwerben sie Wissen über deren konkrete Bedeutung. Kleinkinder im Alter von sieben bis elf Monaten können einzelne Wortformen, die ihnen im Experiment beigebracht wurden, wiedererkennen, auch wenn sie im Satz präsentiert werden.<sup>29</sup> Im Alter von zwölf Monaten können sie lautlich legale von illegalen Wörtern ihrer Muttersprache unterscheiden. Zunächst verfügen Kleinkinder aktiv nur über wenige Wörter, aber ab dem 14. Monat kann man einen sogenannten Vokabelspurt beobachten. Kinder lernen jetzt mehrere neue Wörter am Tag. Hirnaktivitätsmessungen deuten daraufhin, dass die semantische Repräsentation von Wörtern ab dem zweiten Lebensjahr kontinuierlich schärfer wird. Die beobachteten Hirnaktivitätsmuster bei Kindern im Gegensatz zu Erwachsenen sprechen sowohl für eine weniger fokussierte neuronale Repräsentation, als auch für langsame Prozesse bei der Verarbeitung semantischer Information.<sup>30</sup>

Nach dem Stadium der Ein-Wort-Äußerungen („da“, „Papa“, „auf“), folgt das Stadium der Zwei-Wort-Äußerungen („Papa auf“, was so viel heißen kann wie „Papa, mach die Tür auf“). Solche Zwei-Wort-Äußerungen signalisieren erste

<sup>28</sup> Friederici, Müller & Oberecker, 2011.

<sup>29</sup> Kooijman, Hagoort & Cutler, 2005; 2009.

<sup>30</sup> Friedrich & Friederici, 2004; 2005.

Satzstrukturen. Mit zweieinhalb bis drei Jahren zeigen Kinder bereits sprachspezifisches syntaktisches Wissen. So wissen zum Beispiel Deutsch lernende Kinder, dass in ihrer Muttersprache das Verb im Nebensatz am Satzende steht („Peter weiß, dass Lisa Oma hilft“ und nicht „Peter weiß, dass Lisa hilft Oma“).

In den folgenden drei bis vier Lebensjahren erfahren Wortschatz und das syntaktische Wissen eine kontinuierliche Erweiterung. In der Syntaxdomäne ist es interessant zu beobachten, dass sich der Aufbau des grammatischen Wissens und dessen Gebrauch trotz des Erkennens von syntaktischen Relationen im frühen Kindesalter doch bis zum Alter von sieben Jahren hinziehen.<sup>31</sup> EKP-Studien der Satzverarbeitung bei Erwachsenen haben gezeigt, dass syntaktische Verarbeitung mit zwei EKP-Komponenten einhergeht. Während die eine als schnelle, automatische Antwort auf syntaktisch oder morphosyntaktisch unerwartete Elemente angesehen wird, wird die andere als Ausdruck von späteren, kontrollierteren Prozessen syntaktischer Integration von Information interpretiert.<sup>32</sup>

Können uns diese EKP-Komponenten Hinweise auf die syntaktischen Entwicklungsstadien bei Kindern geben? Woran liegt es, dass Sätze wie (8), die nicht der normalen Wortordnung folgen, im Gegensatz zu Sätzen wie (9), so schwierig für Kinder im Vorschulalter sind? Nehmen die Kinder den Unterschied zwischen *den* und *der* nicht wahr? Oder können Sie die vorhandenen Informationen nicht integrieren und zur Satzinterpretation benutzen?

(8) *Den Bär schubst der Tiger.*

(9) *Der Tiger schubst den Bär.*

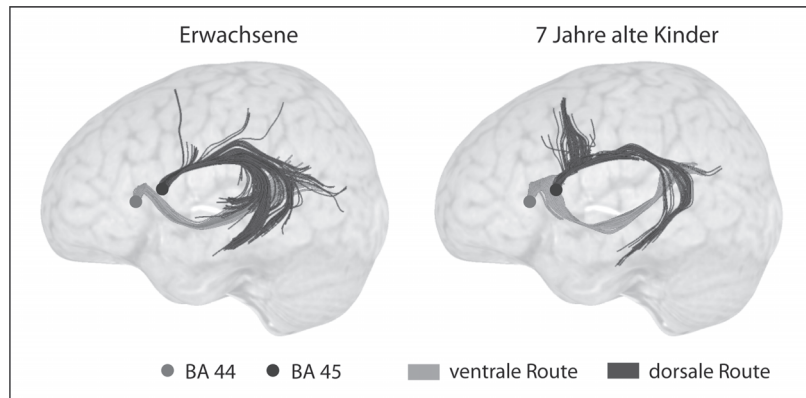
Letzteres scheint der Fall zu sein. Im Alter von drei und vier Jahren zeigt das EKP einen deutlichen Unterschied zwischen Subjekt-zuerst-Sätzen mit *der* in satzinitialer Position und Objekt-zuerst-Sätzen mit *den* in satzinitialer Position. Dies belegt, dass die Kinder den Unterschied zwischen *der* und *den* am Satzanfang wahrnehmen. Bei der Satzinterpretation, getestet in einer Satz-Bild-Zuordnungsaufgabe, zeigen dieselben Kinder für die Objekt-zuerst-Sätze eine Performanz, die nicht über das Zufallsniveau hinausgeht.<sup>33</sup> Diese Befunde machen deutlich, dass jüngere Kinder sehr wohl wichtige syntaktische Information (Kasusmarkierung im Artikel) wahrnehmen, diese aber im Alter von drei und vier Jahren nicht zur Satzinterpretation verwenden.

Was könnte der Grund hierfür sein? Hat er eventuell mit den neurobiologischen Gegebenheiten von jüngeren Kindern gegenüber Erwachsenen zu tun? Eine

<sup>31</sup> Dittmar et al., 2008.

<sup>32</sup> Friederici, 2002; Friederici & Kotz, 2003.

<sup>33</sup> Schipke, Oberecker & Friederici, in Vorbereitung.



Quelle: Brauer, Anwander & Friederici, *Cerebral Cortex*, in press

Abb 4: Faserverbindungen zwischen dem Broca-Areal (BA 44 und BA 45) und dem Temporalappen. Darstellung der strukturellen Verbindungen ausgehend von BA 44 über die dorsale Route in den Temporalappen und von BA 45 über die ventrale Route in den Temporalappen.

klare Antwort auf diese Fragen gibt es derzeit noch nicht, aber erste Hinweise deuten an, dass die Neurobiologie der Hirnreifung hier eine Rolle spielt.

Betrachten wir zunächst das erwachsene Gehirn. Die Verarbeitung von syntaktisch komplexen Sätzen wird durch ein neuronales Netzwerk gesichert, welches aus dem Broca-Areal und dem posterioren Anteil des Temporalcortex besteht (siehe oben). Diese beiden Hirnregionen sind durch Faserbündel direkt miteinander verbunden.<sup>34</sup> Da sowohl das Broca-Areal als auch der posteriore Anteil des Temporalcortex für die Verarbeitung von einfachen Sätzen bei sechs Jahre alten Kindern aktiviert sind,<sup>35</sup> haben diese Hirngebiete entweder selbst noch nicht die gleiche Funktion wie bei Erwachsenen, oder aber die Faserverbindung zwischen den beiden Hirngebieten, für die die spezifische Funktion der Interpretation von syntaktisch komplexen Sätzen kritisch ist, ist noch nicht voll ausgereift.

Und in der Tat geht aus einer neuen Untersuchung hervor, dass diese Faserverbindung bei Erwachsenen deutlich stärker ausgeprägt ist als bei sieben Jahre alten Kindern.<sup>36</sup> Diese Daten geben erste Hinweise auf einen engen Zusammenhang von Hirnstruktur und kognitiver Funktion im Bereich Sprache.

<sup>34</sup> Friederici et al., 2006a; Saur et al., 2008.

<sup>35</sup> Brauer & Friederici, 2007.

<sup>36</sup> Brauer et al., *Cerebral Cortex*, 2011.

## Sprache und Gehirn heute

Mit den heutigen bildgebenden Verfahren sind wir in der Lage, bestimmten Hirnarealen spezifische Funktionen in der Sprachverarbeitung wie Phonologie, Semantik und Syntax zuzuweisen. Auch können wir das Zusammenspiel zwischen den einzelnen Hirnregionen funktionell und in seinem zeitlichen Verlauf beschreiben. Darüber hinaus erlauben es neuere Verfahren, die strukturellen Verbindungen, das heißt die Faserverbindungen, die den Informationsaustausch zwischen den einzelnen Hirnarealen sicherstellen, zu erfassen. Dies gilt vor allem für das erwachsene Gehirn. Jüngste Untersuchungen versuchen, unter Anwendung der bildgebenden Verfahren die Koevolution von Sprachverhalten und Hirnstruktur in der kindlichen Sprachentwicklung zu beschreiben. Erste Ergebnisse sprechen für einen engen Zusammenhang von Hirnreifung und Sprachentwicklung. Diese Ergebnisse bieten die Basis für ein Forschungsprogramm, welches die gegenseitige Bedingtheit von Hirnreifung und sprachlicher Entwicklung genauer untersucht. Dieses Forschungsprogramm sollte genetische Aspekte, wo immer möglich, mit einbeziehen. Die Zukunft der Erforschung des Zusammenhangs von Sprache und Gehirn liegt in einem interdisziplinären Forschungsansatz, welcher diese verschiedenen Aspekte berücksichtigt. Nur so werden wir dem Wunder der menschlichen Sprachfähigkeit und ihren biologischen Grundlagen auf die Spur kommen.

## Referenzen

- BALDWIN, D.A. & L.J. MOSES (2001): Links between social understanding and early word learning: Challenges to current accounts. *Social Development* **10**: 309–329.
- BOOKHEIMER, S. (2002): Functional MRI of language: New approaches to understanding the cortical organization of semantic processing. *Annual Review of Neuroscience* **25**: 151–188.
- BORNKESSEL, I., S. ZYSSETT, A.D. FRIEDERICI, D.Y. VON CRAMON & M. SCHLESEWSKY (2005): Who did what to whom? The neural basis of argument hierarchies during language comprehension. *NeuroImage* **26**: 221–233.
- BRAUER, J., A. ANWANDER & A.D. FRIEDERICI (2011): Neuroanatomical prerequisites for language functions in the maturing brain. *Cerebral Cortex* **21**: 459–466.
- BROCA, P. (1865): Sur le siège de la faculté du langage articulé. *Bulletins de la Société d'Anthropologie* **6**: 337–393.
- BRODMANN (1909): Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde. Leipzig: Barth.
- CAPLAN, D., E. CHEN & G. WATERS (2008): Task-dependent and task-independent neurovascular responses to syntactic processing. *Cortex* **44**: 257–275.



- CORINA, D.P. & S.L. MCBURNEY (2001): The neural representation of language in users of American Sign Language. *Journal of Communication Disorders* **34**: 455–471.
- CURTISS, S. (1977): *Genie: A psycholinguistic study of a modern day "wild child."* New York: Academic Press.
- DEHAENE-LAMBERTZ, G., S. DEHAENE & L. HERTZ-PANNIER (2002): Functional neuroimaging of speech perception in infants. *Science* **298**: 2013–2015.
- DITTMAR, M., K. ABBOT-SMITH, E. LIEVEN & M. TOMASELLO (2008): German children's comprehension of word order and case marking in causative sentences. *Child Development* **79**: 1152–1167.
- ECKSTEIN, K. & A.D. FRIEDERICI (2006): It's early: Event-related potential evidence for initial interaction of syntax and prosody in speech comprehension. *Journal of Cognitive Neuroscience* **18**: 1696–1711.
- FISHER, S.E. & G.F. MARCUS (2006): The eloquent ape: genes, brains and the evolution of language. *Nature Reviews Genetics* **7**: 9–20.
- FRIEDERICI, A.D. & K. ALTER (2004): Lateralization of auditory language functions: A dynamic dual pathway model. *Brain and Language* **89**: 267–276.
- FRIEDERICI, A.D., J. BAHLMANN, S. HEIM, R.I. SCHUBOTZ & A. ANWANDER (2006a): The brain differentiates human and non-human grammars: Functional localization and structural connectivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **103**: 2458–2463.
- FRIEDERICI, A.D., C.J. FIEBACH, M. SCHLESEWSKY, I. BORNKESSEL & D.Y. VON CRAMON (2006b): Processing linguistic complexity and grammaticality in the left frontal cortex. *Cerebral Cortex* **16**: 1709–1717.
- FRIEDERICI, A.D. & S.A. KOTZ (2003): The brain basis of syntactic processes: Functional imaging and lesion studies. *NeuroImage* **20**: S8–S17.
- FRIEDERICI, A.D., M. MAKUUCHI & J. BAHLMANN (2009): The role of the posterior superior temporal cortex in sentence comprehension. *NeuroReport* **20**: 563–568.
- FRIEDERICI, A.D., M. FRIEDRICH & A. CHRISTOPHE (2007): Brain responses in 4-month-old infants are already language specific. *Current Biology* **17**: 1208–1211.
- FRIEDERICI, A.D., D.Y. VON CRAMON & S.A. KOTZ (2007): Role of the corpus callosum in speech comprehension: Interfacing syntax and prosody. *Neuron* **53**: 135–145.
- FRIEDRICH, M. & A.D. FRIEDERICI (2005): Phonotactic knowledge and lexical-semantic processing in one-year-olds: Brain responses to words and nonsense words in picture contexts. *Journal of Cognitive Neuroscience* **17**: 1785–1802.
- FRIEDRICH, M. & A.D. FRIEDERICI (2005): Lexical priming and semantic integration reflected in the event-related potential of 14-month-olds. *NeuroReport* **16**: 653–656.

- GOMEZ, R.L. & L. GERKEN (2000): Infant artificial language learning and language acquisition. *Trends in Cognitive Sciences* **4**: 178–186.
- GREWE, T., I. BORNKESSEL-SCHLESEWSKY, S. ZYSSET, R. WIESE, D.Y. VON CRAMON & M. SCHLESEWSKY (2007): The role of the posterior superior temporal sulcus in the processing of unmarked transitivity. *NeuroImage* **35**: 343–352.
- GREWE, T., I. BORNKESSEL, S. ZYSSET, R. WIESE, D.Y. VON CRAMON & M. SCHLESEWSKY (2005): The emergence of the unmarked: A new perspective on the language-specific function of Broca's area. *Human Brain Mapping* **26**: 178–190.
- GREWE, T., I. BORNKESSEL, S. ZYSSET, R. WIESE, D.Y. VON CRAMON & M. SCHLESEWSKY (2006): Linguistic prominence and Broca's area: The influence of animacy as a linearization principle. *NeuroImage* **32**: 1395–1402.
- GRODZINSKY, Y. (2000): The neural substrate of the language faculty: Suggestions for the future. *Brain and Language* **71**: 82–84.
- HAGOORT, P., L. HALD, M. BASTIAANSEN & K.M. PETERSSON (2004): Integration of word meaning and world knowledge in language comprehension. *Science* **304**: 438–441.
- HÖHLE, B. & J. WEISSENBORN (2003): German-learning infants' ability to detect unstressed closed-class elements in continuous speech. *Developmental Science* **6**: 122–127.
- HÖHLE, B., J. WEISSENBORN, M. SCHMITZ & A. ISCHEBECK (2001): Discovering word order regularities: The role of prosodic information for early parameter setting. In WEISSENBORN, J. & B. HÖHLE (Hrg.) *Approaches To Bootstrapping. Phonological, lexical, syntactic and neurophysiological aspects of early language acquisition. Volume 1.* Amsterdam/Philadelphia: John Benjamins.
- HÖHLE, B., E. WEISSENBORN, D. KIEFER, A. SCHULZ & M. SCHMITZ (2004): Functional elements in infants' speech processing: The role of determiners in the syntactic categorization of lexical elements. *Infancy* **5**: 341–353.
- HOMAE, F., H. WATANABE, T. NAKANO, K. ASAKAWA & G. TAGA (2006): The right hemisphere of sleeping infant perceives sentential prosody. *Neuroscience Research* **54**: 276–280.
- KOOIJMAN, V., P. HAGOORT & A. CUTLER (2005): Electrophysiological evidence for prelinguistic infants' word recognition in continuous speech. *Cognitive Brain Research* **24**: 109–116.
- KOOIJMAN, V., P. HAGOORT & A. CUTLER (2009): Prosodic structure in early word segmentation: ERP evidence from Dutch ten-month-olds. *Infancy* **14**: 591–612.
- MÄNNEL, C. & A.D. FRIEDERICI (2009): Pauses and intonational phrasing: ERP studies in 5-month-old German infants and adults. *Journal of Cognitive Neuroscience* **21**: 1988–2006.
- MUSSO, M., A. MORO, V. GLAUCHE, M. RIJNTJES, J. REICHENBACH, C. BUCHEL & C. WEILLER (2003): Broca's area and the language instinct. *Nature Neuroscience* **6**: 774–781.

- OBERECKER, R. & A.D. FRIEDERICI (2006): Syntactic event-related potential components in 24-month-olds' sentence comprehension. *NeuroReport* **17**: 1017–1021.
- PANNEKAMP, A., U. TOEPEL, K. ALTER, A. HAHNE & A.D. FRIEDERICI (2005): Prosody-driven sentence processing: An event-related brain potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience* **17**: 407–421.
- ROEDER, B., O. STOCK, H. NEVILLE, S. BIEN & F. ROESLER (2002): Brain activation modulated by the comprehension of normal and pseudo-word sentences of different processing demands: A functional magnetic resonance imaging study. *NeuroImage* **15**: 1003–1014.
- Rogalsky, C. & G. Hickok (2009): Selective attention to semantic and syntactic features modulates sentence processing networks in anterior temporal cortex. *Cerebral Cortex* **19**: 786–796.
- SAUR, D., B.W. KREHER, S. SCHNELL, D. KUMMERER, P. KELLMEYER, M.S. VRY et al. (2008): Ventral and dorsal pathways for language. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* **105**: 18035–18040.
- SNIJERS, T.M., T. VOSSE, G. KEMPEN, J.J.A. VAN BERKUM, K.M. PETERSSON & P. HAGOORT (2009): Retrieval and Unification of Syntactic Structure in Sentence Comprehension: an fMRI Study Using Word-Category Ambiguity. *Cerebral Cortex* **19**: 1493–1503.
- STEINHAUER, K., K. ALTER & A.D. FRIEDERICI (1999): Brain potentials indicate immediate use of prosodic cues in natural speech processing. *Nature Neuroscience* **2**: 191–196.
- TOMASELLO, M. (Ed.) (2003): *The New Psychology of Language, Volume 2: Cognitive and Functional Approaches to Language Structure*. Lawrence Erlbaum.
- VARGHA-KHADEM, F., D.G. GADIAN, A. COPP & M. MISHKIN (2005): FOXP2 and the neuroanatomy of speech and language. *Nature Reviews Neuroscience* **6**: 131–138.
- VIGNEAU, M., V. BEAUCOUSIN, P.Y. HERVE, H. DUFFAU, F. CRIVELLO, O. HOUDE, B. MAZOYER & N. TZOURIO-MAZOYER (2006): Meta-analyzing left hemisphere language areas: Phonology, semantics, and sentence processing. *NeuroImage* **30**: 1414–1432.
- WERNICKE, C. (1874): *Der aphasische Symptomenkomplex. Eine psychologische Studie auf anatomischer Basis* (Breslau).